

РАСЧЕТ УСИЛИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

Л.Н.Соколов

Прочноетный расчет гидравлических прессов для горячей деформации крупных слитков находится в прямой зависимости от удельных усилий, возникающих при деформации металла. В свою очередь удельные усилия при прочих равных условиях связаны со скоростью деформации. В практике определения усилий на крупных гидравлических прессах не принято учитывать скорость деформации. Считается, что при высоких температурах в нагретом металле в процессе деформации полностью происходит рекристаллизация, снимающая упрочнение. Процесс деформации рассматривается без упрочнения в связи с тем, что скорости гидравлических прессов малы.

Среднее усилие деформации при осадке можно определить по формуле Губкина-Зибеля

$$P = \sigma \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{D}{H} \right) \cdot F, \quad (1)$$

где σ – истинное удельное усилие при осадке;

μ – коэффициент трения;

D, H – диаметр и высота заготовки;

F - площадь контактной поверхности между металлом и инструментом.

Обычно для выбора прессы достаточно определить усилие по операции осадки, как наиболее трудоемкой операции. Расчет по приведенной выше формуле с использованием вместо σ предела текучести приводит к завышению результатов в 2-2,5 раза.

Поэтому выбор и проектирование гидравлического прессы для определенных технологических операций сопряжен со значительными трудностями и, как правило, в прессовых цехах устанавливается оборудование завышенного усилия или подбирается без достаточно обоснованных расчетов.

Несоответствие расчетного усилия с действительными обычно устраняется при помощи коэффициентов. В частности - коэффициента масштабного фактора, который по данным С.И.Губкина для крупных слитков находится в пределах 0,9 - 0,4. По другим данным этот коэффициент равен 0,8 - 0,5 [1].

Введение указанного коэффициента объясняется нарушением закона подобия. Полагается, что крупные слитки имеют большие нарушения структуры и, следовательно, удельные усилия для их деформации меньше, чем у малых образцов, прошедших деформацию и испытанных в

лабораторных условиях.

Однако при этом не учитывается, по крайней мере, два обстоятельства.

Известно, что удельные усилия при осадке крупных слитков снижаются от первого к последнему режиму. При этом снижение бывает весьма существенное и достигает 2-х раз. Поэтому если несоответствие в удельных усилиях больших и малых объемов происходит за счет нарушения плотности в литом металле, то следовало бы ожидать противоположное явление, т.е. увеличение удельного усилия с увеличением степени проработки металла и увеличения плотности металла.

Вторая особенность заключается в том, что степень деформации, как известно, не влияет на прочностные свойства деформированного металла. В то же время при рассмотрении влияния масштабного фактора на сопротивление деформации отмечается изменение механических свойств и увеличение сопротивления деформации за счет повышения свойств лабораторных, предварительно деформированных образцов. Указанные несоответствия свидетельствуют о том, что существуют иные причины, определяющие величину удельного усилия при ковке.

В табл. 1 приведены результаты исследования свойств стали 35 из слитков веса 23 т и металла поковок из этих же слитков. Как видно, отношение предела

текучести и истинного сопротивления деформации литого металла и прошедшего деформацию находится в пределах, близких к 10, что подтверждает несостоятельность принятых положений об изменении прочностные свойств стали и необходимости учета степени предварительной проработки металла при определении истинных напряжений.

На основании исследований разупрочнения стали при температурах горячей деформации было установлено, что процесс рекристаллизации не успевает проходить полностью практически при всех скоростях деформации, **соответствующих современным машинам кузнечного производства. Скорость деформации порядка 10^{-3}** приводит к значительному упрочнению в процессековки. По данным автора, процесс рекристаллизации на малых образцах заканчивается после прекращения деформации в пределах 40-60 сек .

Следовательно, усилие прессы зависит от выбранного режима деформации. Поэтому нельзя рассчитывать пресс по общей величине деформации слитка. Усилия прессы необходимо выбирать в зависимости от технологических особенностейковки, учитывая скорость деформации и упрочнение, возникающие при этом в результате каждого нажима.

Исходным моментом при определении удельного усилия

должны быть напряжения текучести металла, соответствующие принятой температуре деформации. Предел текучести при высоких температурах, определяемый принятыми стандартными методами, не соответствует природным прочностным свойствам металла при переходе в пластическое состояние.

Предел текучести определяется путем растяжения при монотонной деформации, в результате которой также происходит упрочнение. На этом основании предел текучести, определенный просто растяжением, следует считать характеристикой ложной, состоящей из "природных" прочностных свойств и упрочнения.

Таким образом, для расчета истинных напряжений при деформации металла необходимо знать величины σ_k и σ_y , где σ_k — истинные напряжения, перехода металла при данной температуре в пластическое состояние;

σ_y — напряжения, вызванные упрочнением металла при данной температуре и при определенной скорости и степени деформации.

Нами установлено, что напряжения упрочнения достигают при температурахковки высоких значений и по своей величине соответствуют масштабным коэффициентам.

Сославшись на опубликованную методику определения

σ_k [2], приведем лишь в качестве примера ее величину для стали 45 (таблица 2).

Напряжения упрочнения, в свою очередь, могут быть определены как

$$\sigma_y = M \epsilon^\alpha,$$

где M — коэффициент, связывающий напряжения и деформации при частичном разупрочнении.

Значение этого коэффициента для некоторых марок стали приведено в табл. 3.

α — коэффициент, учитывающий состав стали (таблица 4);

ϵ — степень деформации.

Учитывая, что реальная горячая деформация сопровождается взаимопротивоположными процессами упрочнения, разупрочнения и скорость разупрочнения несколько меньше скорости упрочнения, при ковке наблюдается частичное упрочнение металла. Напряжения, возникающие при данной скорости деформации, на основании изложенного можно определить

$$\sigma_i = \sigma_k + M \epsilon^\alpha. \quad (2)$$

В случае необходимости определения напряжения при скорости, отличной от принятой при эксперименте,

пересчет может быть произведен по формуле Ф.Ф.Витмана и В.А. Степанова

$$\frac{\sigma}{\sigma_i} = \left(\frac{v}{v_i} \right)^n, \quad (3)$$

дающей весьма хорошее совпадение с экспериментом.

Таким образом, расчет усилий, возникающих при осадке крупных слитков, можно производить согласно

$$P = \sigma_i \left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{D}{H} \right) F. \quad (4)$$

При этом следует учитывать, что процесс деформации при осадке осуществляется целым рядом последовательных нажимов. После каждого нажима в паузе происходит процесс разупрочнения и каждый нажим нужно рассматривать как самостоятельную операцию, протекающую в разных скоростных условиях. Обычно на первых нажимах скорость деформации на порядок выше, чем на последующих. В связи с этим процессы разупрочнения протекают более полно в последних нажимах. С этим связано падение напряжений при осадке крупных слитков от первых нажимов к последним.

Поэтому следует признать неправомерным подбор усилий пресса по весу слитка или по общей степени деформации.

Для подбора усилия пресса необходимо разработать

деформационный режим, определить скорость деформации на каждом из нажимов и по нажимам, имевшим наибольшую скорость, рассчитать истинные напряжения.

В табл. 5 приведены значения истинных напряжений стали 45 для различных скоростей и степеней деформации.

Результаты эксперимента по осадке слитков весом от 100 до 10 тонн полностью совпали с результатом расчета на основании учета разупрочнений.

В Ы В О Д Ы

Предложена методика расчета истинных напряжений, возникающих в процессе осадки слитков на гидравлических прессах, на основе учета частичного разупрочнения металла в процессе деформации.

Показана возможность использования результатов лабораторных экспериментов при переходе к большим объемам без масштабных коэффициентов.

Установлено, что выбор необходимого усилия пресса **связан** с принятым деформационным режимом.

ОТНОШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДЕФОРМИРОВАННОГО
И ЛИТОГО МЕТАЛЛА

Таблица 1

Место по: радиусу слитка	2	3	4	5	6	7	8
И	Верх	Без деформации	поперек	58,5	-	70,5	
Край							
I/3	"	"	"	61,0	-	71,5	
Центр	"	"	"	63,5	-	73,5	
Край	Верх	Без деформации	вдоль	56,0	-	71,0	
I/3	"	"	"	63,0	-	82,0	
Центр	"	"	"	63,0	-	74,0	

Продолжение табл. 1

I	2	3	4	5	6	7	8
Край	Верх	Протяжка	поперек	59,5	1,02	72,0	1,02
I/3	"	до	"	63,0	1,03	71,0	0,99
Центр	"	укова IO	"	-	-	-	-
Край	Верх	Протяжка	вдоль	61,5	1,10	78,0	1,10
I/3	"	до	"	62,5	0,99	78,5	0,99
Центр	"	укова IO	"	62,5	0,99	79,0	1,07
Край	Среди- на	Протяжка до ук.6,0	поперек	56,0	1,00	70,5	1,00
I/3	"	"	"	55,0	1,01	63,0	0,88
Центр	"	"	"	55,0	1,00	64,0	0,88
Край	Среди- на	Протяжка до укова 6,0,	вдоль	57,0	1,03	72,0	1,02
I/3	"	"	"	58,5	1,06	72,5	0,90
Центр	"	"	"	58,5	1,04	72,0	0,97

Продолжение табл. 1

I	2	3	4	5	6	7	8
Край	Середина	Протяжка до укова 4,0	поперек	58,0	1,03	71,5	1,01
I/3	"-	" -	"-	55,0	0,98	65,0	0,91
Центр	"-	" -	"-	56,0	1,02	66,0	0,91
Край	Низ	Без деформации	поперек	57,0	-	74,5	-
Край	Низ	Без деформации	вдоль	58,0	-	74,0	-
Край	Низ	Осадка, протяжка до 10	поперек	59,0	1,03	72,5	0,98
Край	Низ	Осадка, протяжка до 10	вдоль	58,5	1,01	75,0	1,01

Значения σ_k при высоких температурах для стали 45

Таблица 2

Температура, °C	Предел текучести σ_s , кг/мм ²	σ_k , кг/мм ²
600	12,0	5,8
700	7,2	3,3
800	5,2	2,1
900	3,1	1,0
1000	2,7	0,7
1100	1,6	0,35

Значения коэффициента M для некоторых
марок стали

Таблица 3

Марка стали	Температура деформации, °C				
	700	800	900	1000	1100
Ст.3	3,8	2,2	1,8	1,4	1,0
45	4,0	2,4	2,0	1,4	1,0
У12	4,6	3,4	2,4	1,7	1,0
40X	5,0	2,6	2,5	1,5	1,0
IXI8H9T	-	-	-	4,5	3,35

Значения коэффициента α для некоторых
марок стали

Таблица 4

Марка стали	Ст.3	45	40X	У12	IXI8H9T
	0,33	0,33	0,33	0,25	0,10

Сопротивление деформации стали 45

Таблица 5

Темпера- тура, °C	Степень де- фор- мации, %	Скорость деформации, 1/сек. 10 ⁻³										Примеча- ние	
		0,5	1,0	1,33	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	10,0	10,0		
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	10		II
II00	2	1,35	1,50	1,60	1,70	1,95	2,11	2,20	2,30				
	4	1,60	1,80	1,90	2,05	2,30	2,50	2,60	2,75				
	6	1,75	2,00	2,10	2,30	2,55	2,70	2,90	3,00				
	8	1,90	2,20	2,30	2,50	2,80	3,00	3,20	3,30	n = 0,18			
	10	2,10	2,35	2,50	2,70	3,05	3,25	3,45	3,60				
---	12	2,20	2,45	2,60	2,80	3,20	3,40	3,60	3,75				
	15	2,25	2,55	2,70	2,90	3,30	3,50	3,70	3,90				
	2	2,10	2,40	2,50	2,70	3,00	3,20	3,35	3,45				
---	4	2,55	2,85	3,00	3,20	3,20	3,85	4,00	4,15				
	6	2,80	3,15	3,30	3,50	3,90	4,20	4,40	4,55				

Продолжение табл. 5

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
1000	8	3,10	3,40	3,60	3,85	4,30	4,60	4,80	5,00	n = 0,16
	10	3,25	3,60	3,80	4,10	4,50	4,90	5,10	5,25	
	12	3,40	3,80	4,00	4,25	4,75	5,10	5,35	5,50	
	15	3,60	4,00	4,20	4,50	5,00	5,40	5,65	5,80	
	2	3,05	3,35	3,50	3,70	4,10	4,35	4,50	4,65	
	4	3,55	3,95	4,10	4,30	4,80	5,10	5,30	5,45	
	6	4,00	4,40	4,60	4,90	5,40	5,70	5,95	6,10	
900	8	4,35	4,80	5,00	5,25	5,85	6,20	6,45	6,65	n = 0,14
	10	4,60	5,10	5,30	5,55	6,20	6,65	6,85	7,05	
	12	4,80	5,30	5,55	5,85	6,50	6,90	7,20	7,40	
	15	5,05	5,60	5,80	6,10	6,80	7,20	7,50	7,70	
	2	4,90	5,30	5,50	5,80	6,30	6,60	6,83	7,05	
	4	5,60	6,05	6,30	6,60	7,15	7,55	7,80	8,00	
800	6	6,05	6,55	6,80	7,10	7,70	8,15	8,40	8,70	n = 0,12
	8	6,50	7,00	7,25	7,60	8,30	8,70	9,00	9,30	

Окончание табл. 5

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
I0	6,85	7,35	7,65	8,00	8,70	9,20	9,50	9,80		
I2	7,25	7,70	8,00	8,40	9,10	9,60	9,95	10,25		
I5	7,40	7,90	8,25	8,65	9,40	9,90	10,20	10,60		

Л и т е р а т у р а

1. Е.Н.МОШНИН, Н.М.ЗОЛОТУХИН. Кузнечно-штамповочное производство, 1960, № 6; 1961, № 3.
2. Л.Н.СОКОЛОВ, В.К.ИКОРСКИЙ. Известия вузов,Черная металлургия, № 7, 1970, стр. 90-92.
3. Ф.Ф.ВИТМАН, В.А. СТЕПАНОВ. Ж.Т.Ф., 1939, №9, стр. 1070.